

Indrasti N. S., M. A., Subroto dan G. G. Gunawan

**ADSORPSI LOGAM BERAT SENG (Zn) DENGAN MENGGUNAKAN AKAR RAMBUT
Solanum nigrum L GALUR A₄ KERING TERIMOBILISASI DALAM Na-alginat**Nastiti Siswi Indrasti¹, Muhammad Ahkam Subroto² dan Gun Gun Gunawan¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia - Bioteknologi, Bogor**ABSTRACT**

Root tissue of *Solanum nigrum* L A₄ strain was found to adsorb heavy metal especially Zinc (Zn). Compared with activated carbon used as adsorbent on industrial waste water treatment process, the adsorption by root tissue of *Solanum nigrum* L was higher. The adsorption of *Solanum nigrum* L was represented by Langmuir and Freundlich isotherms equation. Ground powder of *Solanum nigrum* L was immobilized by natrium alginate for a practical use. Zinc concentration adsorbed by immobilized *Solanum nigrum* L were higher than ground powder form. The adsorption capacity shows the capacity of the adsorbent used. It was calculated through dividing adsorbat (mg) with the weight of the adsorbent (gr). Even the concentration of zinc adsorbed by immobilized beads was higher, the adsorption capacity of ground powder form of *Solanum nigrum* L was higher than immobilized beads. It might be caused by the natrium alginate which also adsorbed zinc and formed higher weight of adsorbent, and implies that polymer used for immobilization creates a binding coated on the *Solanum nigrum* L ground powder surface.

Key words : adsorption, plant tissue, zinc, immobilization

PENDAHULUAN**Latar Belakang**

Kecemasan berlebihan terhadap pencemaran logam berat di lingkungan lebih diakibatkan karena tingkat keracunannya yang sangat tinggi dalam seluruh aspek kehidupan makhluk hidup. Pencemaran terjadi akibat adanya perubahan-perubahan yang buruk terhadap kekhasan fisik, kimia dan biologis dalam suatu lingkungan.

Proses alam seperti perubahan siklus alamiah yang mengakibatkan terjadinya peleburan batuan-batuan dan letusan gunung berapi merupakan kontributor besar terjadinya pencemaran logam berat ke dalam lingkungan (Suhendrayatna, 2001). Selain proses alami, kontributor pencemaran logam berat ke dalam lingkungan juga dihasilkan oleh aktivitas pertanian seperti penggunaan insektisida dan pestisida, pabrik pembuatan aki/baterai (Darmono, 1995), dan industri-industri lain yang melibatkan proses elektroplating, pencelupan, industri kertas dan industri pertambangan (Chen *et al.*, 1996).

Tidak seperti polutan organik yang pada beberapa kasus pencemaran dapat didegradasi, logam berat yang dibuang ke lingkungan cenderung tidak terdegradasi, tersirkulasi dan biasanya terakumulasi melalui rantai makanan yang merupakan ancaman bagi hewan dan manusia (Chen *et al.*, 1996).

Tingkat toksisitasnya yang tinggi mampu mengakibatkan terjadinya berbagai penyakit. Beberapa penyakit akibat pencemaran limbah logam berat yang banyak dilaporkan adalah demam, kanker paru-

paru, kemandulan, kematian bayi baru lahir, kerusakan sistem syaraf pusat dan pada tingkatan yang paling parah mampu menyebabkan kematian. Hal tersebut terjadi karena hampir semua logam mempengaruhi sistem organ tubuh dengan sasaran berupa proses biokimia tertentu, membran sel serta berbagai organ tubuh penting lain. Toksisitas logam pada manusia juga menyebabkan kerusakan jaringan hati dan ginjal, bahkan beberapa logam bersifat karsinogenik.

Beberapa cara yang digunakan untuk pengolahan limbah adalah dengan menggunakan proses kimiawi, fisik dan biologis. Proses bioremediasi yang umumnya menggunakan bakteri dan khamir merupakan proses yang paling banyak dipergunakan karena memiliki keunggulan; ramah lingkungan dan lebih murah jika dibandingkan dengan metode lain yang telah ada seperti insenerasi (pembakaran dengan suhu tinggi) yang hanya mengubah bentuk bahan pencemar menjadi asap yang berbahaya dan pengurangan (*landfill*) yang “mengubur” masalah limbah yang sedang dihadapi (Subroto, 1996).

Karena keunggulannya, penelitian dan pengembangan teknologi bioremediasi sebagai pengolah limbah terus berlanjut sehingga berkembang pemikiran untuk menggunakan tanaman sebagai agen degradator yang dikenal sebagai proses fitoremediasi. Meskipun baru dikenal, sebenarnya fitoremediasi merupakan konsep lama dalam hal penggunaan tanaman untuk dekontaminasi limbah dan bioindikator adanya pencemaran air dan udara. Fitoremediasi merupakan metode yang sesuai untuk penanganan pencemaran logam berat yang

cenderung tidak terdegradasi, dengan berbagai keuntungan yang tidak dimiliki teknik bioremediasi lain, karena selain lebih bersahabat dengan lingkungan, teknik ini lebih murah dan mudah dilakukan.

Penelitian tentang kemampuan fitoremediasi dalam mengolah logam berat telah banyak dilakukan. Beberapa diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Chen *et al.* (1996) menggunakan akar dari dua jenis tumbuhan rumput-rumputan yang terdapat di iklim tropis dan subtropis dan merupakan *biosorbent* yang potensial untuk mengatasi masalah logam berat. Kedua jenis rumput-rumputan itu adalah *Amaranthus spinosus* dan *Solanum nigrum*. Sementara Macek *et al.* (1994) menyebutkan bahwa kultur akar *Solanum nigrum* mampu mengakumulasi logam berat kadmium. Teknik imobilisasi akar A. *spinosus* dan *Solanum nigrum* yang dilakukan Chen *et al.* (1996) menunjukkan kemampuan adsorpsi kedua jenis akar terimobil tersebut terhadap tembaga. Teknik imobilisasi akar merupakan pengembangan teknik fitoremediasi yang sangat menguntungkan karena selain murah, akar yang terimobil dapat diregenerasi untuk digunakan kembali sebagai adsorben.

Penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam mengatasi permasalahan pencemaran logam berat yang sedang dihadapi. Penelitian ini menggunakan akar *Solanum nigrum* L galur A₄ terimobil untuk mengurangi konsentrasi logam berat Zn dalam larutan Zn buatan.

Tujuan Penelitian dan Hipotesis

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi dari akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ yang terimobilisasi terhadap logam berat seng (Zn). Dengan hipotesis bahwa kultur akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ mampu mengadsorpsi dan mengakumulasi logam berat seng (Zn).

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Erlenmeyer 250 ml dan 1000 ml, pipet Pasteur, kertas saring, *magnetic stirrer*, *pHmeter*, timbangan analitik *Precisa 303 A*, AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) model HGA 850 *Graphite Furnace* (*Perkin Elmer Instrument FIAS 100*).

Sedangkan bahan yang digunakan adalah serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄, logam berat seng (Zn) dalam bentuk senyawa garam

ZnSO₄·7H₂O, arang aktif, akuades, larutan 0,1 N HCl dan NaOH untuk koreksi pH.

Metode Penelitian

Studi Adsorpsi Equilibrium

Serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ diperoleh dengan mengeringkan akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ secara kering angin pada suhu kamar, kemudian di gerus sehingga terbentuk serbuk akar halus.

Larutan seng (Zn) dengan konsentrasi 50, 100, 150, 200, 250, 300 mg/l diperoleh dengan melarutkan larutan stok 5000 mg/l. Pengukuran pH dilakukan setelah penambahan HCl 0,1 N jika terlalu basa dan NaOH 0,1 N jika larutan Zn yang dihasilkan terlalu asam.

Larutan Zn dengan konsentrasi 50, 100, 150, 200, 250, 300 mg/l dengan pH 5,7 – 5,8 disiapkan dalam Erlenmeyer 250 ml masing-masing 100 ml. Sebanyak 0,2 gram serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ dan 0,2 gram arang aktif sebagai pembanding ditimbang menggunakan timbangan analitik *Precisa 303 A*. Serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ sebanyak 0,2 gram yang telah ditimbang dimasukkan kedalam masing-masing konsentrasi larutan, perlakuan yang sama juga dilakukan untuk arang aktif. Erlenmeyer kemudian disimpan dengan suhu kamar selama 24 jam untuk mencapai kondisi equilibrium. Larutan kosong 50, 100, 150, 200, 250 dan 300 mg/l tanpa penambahan biomasa disiapkan dan diperlakukan sama sebagai kontrol untuk masing-masing kondisi perlakuan.

Setelah diinkubasi selama 24 jam untuk menghasilkan equilibrium, larutan Zn yang telah dicampur dengan serbuk akar dalam Erlenmeyer disaring dengan kertas saring sehingga serbuk akar dan larutan Zn terpisah, serbuk akar dan larutan Zn kemudian diukur kandungan logamnya dengan menggunakan alat AAS. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap arang aktif dan kontrol.

Preparasi Biosorben Terimobilisasi

Serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ sebanyak 0,2 gram dicampurkan dengan larutan natrium alginat 4 % (b/v) kemudian dikocok hingga rata. Campuran yang dihasilkan kemudian diteteskan dengan menggunakan pipet ke dalam 100 ml CaCl₂ 100 mM. Serbuk akar yang terimobil dalam bentuk bulatan-bulatan kenyal disaring dan dicuci dengan menggunakan akuades.

Studi Adsorpsi Akar Imobil

Larutan seng dengan konsentrasi 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 mg/l sebanyak 100 ml

dengan pH antara 5,7 – 5,8 dalam erlenmeyer disiapkan dalam shaker. Biosorben terimobil dimasukkan kedalam masing-masing larutan Zn yang berbeda konsentrasinya. Kemudian diambil sampel sebanyak 10 ml pada waktu 0, 2, 5, 10, 15 dan 30 menit. Sampel dari masing-masing konsentrasi yang didapat diencerkan dan diukur dengan menggunakan alat AAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Ekuilibrium

Pada banyak proses yang melibatkan proses fisik maupun reaksi-reaksi kimia akan terjadi penurunan konsentrasi sampai bentuk substansi dari reaktan dan produk terdapat pada kondisi ekuilibrium yang dinamis sehingga perlu dilakukan analisis ekuilibrium. Analisis ekuilibrium memberikan informasi tentang kapasitas dari adsorben yang digunakan (Muhammad *et al.*, 1998).

Isotherm adsorpsi merupakan tes ekuilibrium pada sistem *batch* yang menggambarkan hubungan antara adsorbat (materi yang terkonsentrasi dan terikat pada permukaan benda padat, dalam hal ini ion logam Zn^{2+} dari larutan) yang diadsorpsi per unit adsorben (padatan yang permukaannya mengikat materi kimia, dalam hal ini serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ dan arang aktif) dengan konsentrasi dalam larutan (Bernardin *di dalam* Eckenfelder, 1985) yang lebih dikenal dengan kemampuan adsorpsi.

Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu struktur pori, pH larutan, ukuran molekul dan berat adsorben, polaritas, tingkat kelarutan, bahan pelarut, tingkat difusifitas, dan daya tarik ion dalam larutan. (Broughton *di dalam* Eckenfelder, 1985).

Serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ maupun arang aktif memperlihatkan proses adsorpsi dengan ion logam berat Zn^{2+} yang terdapat dalam larutan, yang berakibat pada menurunnya konsentrasi larutan Zn. Penurunan konsentrasi terjadi karena adanya reaksi adsorpsi antara ion logam berat dalam larutan dengan permukaan adsorben, proses ini terus terjadi sampai akhirnya reaktan dan produk terdapat pada suatu kondisi ekuilibrium yang dinamis (Schenk dan Ebbing, 1985).

Analisis ekuilibrium yang dilakukan terhadap kedua jenis adsorben menunjukkan konsentrasi logam berat yang diadsorpsi oleh serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ lebih tinggi dibandingkan dengan arang aktif. Tabel 1 memperlihatkan hasil analisis logam Zn terhadap dua jenis adsorben yang berbeda tersebut dengan dua ulangan setelah disimpan selama 24 jam pada suhu kamar.

Dalam sebuah proses adsorpsi terutama pada suatu larutan, permukaan adsorben dikelilingi oleh ion OH^- dan H^+ yang banyak terdapat dalam air. Ion OH^- yang terdapat pada permukaan adsorben digantikan oleh anion dari zat yang terlarut dan H^+ akan digantikan oleh kation (Broughton *di dalam* Eckenfelder, 1985). Proses adsorpsi antara serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ dan arang aktif terhadap ion Zn^{2+} dalam larutan mengikuti hal tersebut. Ion OH^- yang terdapat pada permukaan adsorben digantikan dengan ion SO_4^{2-} sementara ion H^+ digantikan dengan ion Zn^{2+} dari larutan

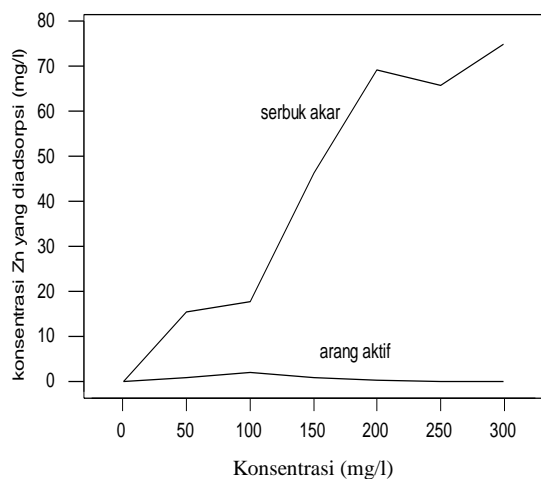
Tabel 1. Konsentrasi Zn yang terdapat pada adsorben setelah disimpan pada suhu kamar selama 24 jam

Konsentrasi larutan Zn (mg/l)	Arang aktif I (mg/l)	Arang aktif II (mg/l)	Serbuk akar I (mg/l)	Serbuk akar II (mg/l)
0	0	0	0	0
50	0,14	1,9	18,56	12,43
100	0,49	3,56	13,47	21,84
150	1,79	0	49,08	43,72
200	0	0,68	76,23	62,17
250	0	0	65,69	65,63
300	0	0	78,92	70,86

Ada dua proses adsorpsi yang dikenal yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Dalam penerapannya pada proses remediasi limbah, proses adsorpsi yang terjadi diasumsikan merupakan proses adsorpsi fisik dimana gaya yang menyebabkan terjadinya proses adsorpsi tersebut adalah gaya Van der Waals (Roth dan Kodavasal *di dalam* Eckenfelder, 1985). Gaya Van der Waals ini menyebabkan penggantian ion OH^- adsorben dengan ion SO_4^{2-} dan H^+ dengan Zn^{2+} larutan. Proses substitusi ion menyebabkan konsentrasi Zn dalam larutan menurun dan konsentrasi Zn pada serbuk akar dan arang aktif meningkat. Gambar 1 memperlihatkan konsentrasi Zn yang diadsorpsi oleh serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ dan arang aktif seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan Zn.

Arang aktif merupakan adsorben yang memiliki kemampuan adsorpsi spesifik terhadap senyawa organik tertentu (Weber *di dalam* Eckenfelder, 1985) kemampuan adsorpsinya yang spesifik mengakibatkan arang aktif hanya mampu mengadsorpsi logam Zn dalam jumlah yang sangat sedikit dan bahkan dapat dikatakan tidak ada pada beberapa konsentrasi Zn. Kemampuan adsorpsi dari kedua jenis adsorben dapat dilihat pada Tabel 2. Kemampuan adsorpsi merupakan hasil bagi antara berat bahan yang diadsorpsi (mg) dengan berat adsorben (g).

Persamaan Langmuir biasa digunakan untuk sistem adsorpsi ideal dimana permukaan adsorben homogen, suhu tetap dan adsorbat terdapat dalam satu lapisan (Chen *et al.*, 1996). Sementara Persamaan Freundlich menggambarkan persamaan empiris untuk sistem yang non ideal (Muhammad *et al.*, 1998). Persamaan Freundlich menunjukkan ekuilibrium antara adsorbat yang teradsorpsi per unit berat adsorben dengan konsentrasi adsorbat (Bernardin *di dalam* Eckenfelder, 1985).



Gambar 1. Hubungan antara tingkat konsentrasi larutan Zn (mg/l) dengan adsorben (mg/l).

Tabel 2. Kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ dan arang aktif terhadap logam berat seng (mg/g).

Konsentrasi Larutan Zn (mg/l)	Arang aktif (mg/g)	Serbuk akar (mg/g)
0	0 ± 0	0 ± 0
50	0,51 ± 0,62	7,75 ± 2,17
100	1,01 ± 1,09	8,83 ± 2,96
150	0,45 ± 0,63	23,20 ± 1,90
200	0,17 ± 0,24	34,60 ± 4,97
250	0 ± 0	32,83 ± 0,02
300	0 ± 0	37,45 ± 2,85

Persamaan Langmuir adalah sebagai berikut :

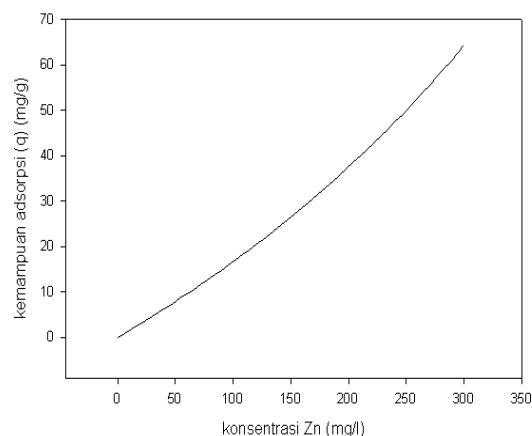
$$q = \frac{QK_L C}{1 + K_L C}$$

dimana q adalah fase padatan konsentrasi logam (mg/g adsorben), Q merupakan asimptot maksimum dari fase padat konsentrasi logam, K_L konstanta ekuilibrium (dm³/mg), dan C adalah konsentrasi larutan logam (mg/l) (Chen *et al.*, 1996). Untuk memudahkan dalam proses perhitungan konstanta Langmuir, persamaan di atas diubah menjadi persamaan linear yang lebih sederhana dalam bentuk

umum persamaan garis linear $y = ax + b$. Dari garis yang dihasilkan, nilai konstanta Langmuir dapat diketahui, yaitu sebesar K_L = 0,001 persamaan Langmuir dari serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ adalah

$$q = \frac{0,15 C}{1 + 0,001 C}$$

Persamaan tersebut menghasilkan garis yang menggambarkan kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L terhadap logam berat Zn pada berbagai tingkat konsentrasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Persamaan Langmuir serbuk akar rambut terhadap logam berat Zn.

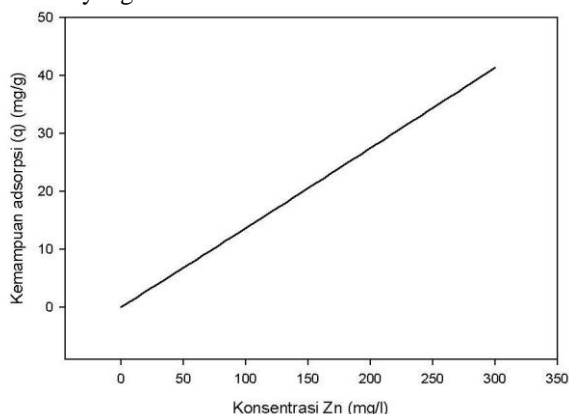
Konstanta Freundlich dari serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ diperoleh dengan melakukan pengolahan terhadap persamaan Freundlich menjadi sebuah persamaan yang juga menggambarkan garis linear sehingga lebih memudahkan penghitungan. Persamaan Freundlich dituliskan sebagai :

$$q = K_f C^n$$

dimana K_f dan n merupakan karakteristik konstanta sistem (Chen *et al.*, 1996).

Persamaan Freundlich disederhanakan dengan menggunakan garis logaritma yang mengubah persamaan Freundlich menjadi $\log q = \log K_f + n \log C$. Nilai C dan q dapat dilihat dari data yang dihasilkan, n merupakan kemiringan garis linear yang terbentuk sehingga nilai K_f dapat dihitung dari garis yang dihasilkan. Dari persamaan garis tersebut dapat diketahui nilai K_f dan n sehingga persamaan Freundlich untuk serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ diperoleh yaitu $q = 0,13 C^{1,01}$. Persamaan kurva yang terbentuk digunakan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi dari serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ pada berbagai konsentrasi yang tidak diujikan. Gambar 3 memper-

lihatkan garis yang dihasilkan dari persamaan Freundlich yang menggambarkan proses adsorpsi sistem yang tidak ideal.



Gambar 3. Persamaan Freundlich untuk serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ kering, digunakan untuk menggambarkan adsorpsi pada sistem non ideal.

Keterangan yang lebih jelas untuk kedua jenis persamaan adsorpsi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Persamaan Langmuir dan Freundlich untuk serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ kering terhadap logam Zn

Jenis Persamaan	Persamaan Ekuilibrium	Keterangan
Langmuir	$q = \frac{0,15 C}{1+0,001 C}$	$K_L = 0,001$ $r^2 = 82,3$ $Q = 144,72$
Freundlich	$q = 0,13 C^{1,01}$	$K_F = 0,13$ $r^2 = 93,9$

Studi Adsorpsi Akar Imobil

Mengingat kemampuan adsorpsi Zn akar rambut *Solanum nigrum* L kering yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang aktif, maka akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ dijadikan sebagai bahan adsorben yang digunakan untuk diimobilisasi, untuk diketahui kemampuan adsorpsi dalam keadaan terimobil.

Dalam bentuk terimobil akar rambut akan mudah ditaburkan ke dalam suatu kolam pengolahan limbah, atau dalam sebuah kolom reaktor, disaring untuk kembali digunakan sebagai adsorben setelah dilakukan proses regenerasi ulang. Dalam prakteknya penggunaan serbuk akar rambut terimobil lebih mudah dilakukan dan lebih ekonomis jika diban-

dingkan penggunaan serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ secara langsung.

Perlakuan pengeringan angin dan penggerusan akar akan mengubah bentuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ menjadi serbuk kering dan menyebabkan matinya sel tanaman. Imobilisasi menggunakan sel yang sudah mati memiliki beberapa keuntungan yaitu tidak tergantung pada pertumbuhan sel, tidak memerlukan nutrisi, tidak tergantung pada tingkat toksistas, sangat cepat dan efisien, serta logam dapat segera dipisahkan dan dapat direcoveri (Suhendrayatna, 2001).

Akar imobil yang dihasilkan memiliki variasi ukuran diameter 0,28 – 0,34 cm, yang kemudian dimasukkan ke dalam larutan Zn dengan konsentrasi 50, 100, 150, 200, 250, dan 300 mg/l. Daya serap akar terimobil diketahui dengan melakukan pengukuran dari sampel yang diambil dari larutan pada waktu 0, 2, 5, 10, 15, dan 30 menit sebanyak 10 ml. Pemilihan waktu ini dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Boonamnuyvitya *et al.* (2000). Selain itu Suhendrayatna (2002) menyatakan bahwa pada konsentrasi awal logam berat berkisar 20 – 27 ppm, kadmium dan seng dapat direduksi sebesar 90 persen setelah 30 menit. Sampel yang didapat kemudian diukur konsentrasinya dengan menggunakan AAS.

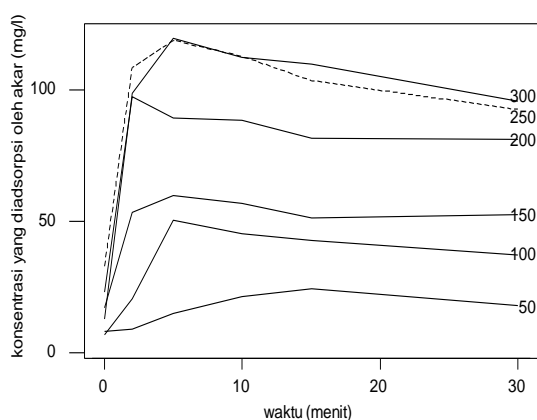
Pengambilan sampel sebanyak 10 ml untuk pengukuran dengan AAS mengakibatkan berkurangnya volume larutan Zn pada setiap perubahan waktu, misalnya pada menit ke-0 volume larutan Zn masih 100 ml, pada menit ke-2 telah terjadi pengambilan sampel untuk mengetahui adsorpsi pada menit ke-0 sehingga volume larutan yang tersisa dalam erlenmeyer adalah 90 ml dan seterusnya. Perbedaan volume mengakibatkan perbedaan kondisi pada setiap pengambilan sampel untuk setiap perubahan waktu yang telah ditentukan. Untuk menghindari terjadinya kesalahan atau bias dari data yang diperoleh, dilakukan penyesuaian data sehingga semua data yang didapat berdasarkan atas perlakuan yang sama. Penyesuaian dilakukan dengan menggunakan rumus umum pengenceran yaitu $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$, sehingga didapatkan data penyerapan yang dilakukan oleh serbuk akar rambut terimobil yang tidak bias dan meminimalkan terjadinya kesalahan. Hasil penyesuaian data tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 dapat dilihat pada menit ke 0 telah terjadi proses adsorpsi logam berat Zn oleh akar imobil, hal ini disebabkan karena adanya kontak antara larutan Zn (pada semua tingkat konsentrasi) dengan serbuk akar imobil ketika serbuk akar imobil dimasukkan kedalam larutan Zn. Pada menit berikutnya proses adsorpsi terus berlanjut. Idealnya, semakin lama waktu, konsentrasi seng (Zn) yang terdapat dalam larutan akan semakin menurun karena adanya proses adsorpsi, sebaliknya konsentrasi yang terdapat dalam serbuk akar rambut

Solanum nigrum L galur A₄ terimobil akan semakin meningkat. Namun dari data yang terdapat dalam Tabel 3 terjadi penurunan konsentrasi Zn yang diadsorpsi oleh akar imobil. Penurunan konsentrasi yang diadsorpsi oleh akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ dapat dilihat pada Gambar 4. Kejadian ini merupakan salah satu fenomena dalam proses adsorpsi, yang dapat dijelaskan secara ilmiah sebagai berikut : dalam sebuah proses adsorpsi selalu diasumsikan bahwa interaksi antar molekul adsorbat pada permukaan adsorben dapat ditiadakan akan tetapi dalam teori dan praktek, hubungan antar molekul adsorbat itu terjadi (Giles, C. H., *et al.*, 1974). Interaksi yang terjadi antar adsorbat dapat berupa gaya tarik maupun gaya tolak. Interaksi inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan konsentrasi Zn dalam adsorben.

Tabel 3. Konsentrasi Zn yang diserap oleh serbuk akar rambut imobil yang disesuaikan (mg/l).

Larutan Zn (mg/l)	Waktu (menit)					
	0	2	5	10	15	30
50	8	9	14,80	21,35	24,30	17,75
100	7	20,70	50,40	45,15	42,90	37
150	17	53,55	59,60	56,70	51,30	52,50
200	23	97,20	89,20	88,55	81,60	81
250	33	108,45	118,80	112,70	103,50	92,50
300	13	98,55	119,60	112,35	109,80	95,75



Gambar 4. Pengaruh waktu terhadap konsentrasi Zn yang diadsorpsi oleh serbuk akar imobil untuk beberapa tingkat konsentrasi larutan seng (Zn).

Kemampuan adsorpsi dari serbuk akar rambut terimobil diukur dengan menggunakan data berat logam Zn (miligram) yang diadsorpsi oleh

serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ terimobil.

Konsentrasi logam Zn yang diadsorpsi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ terimobil lebih tinggi dibandingkan dengan proses adsorpsi pada serbuk akar rambut tidak terimobil meskipun berat akar rambut yang digunakan sama yaitu 0,2 gram. Hal ini disebabkan karena bahan natrium alginat yang digunakan sebagai bahan untuk mengimobilisasi serbuk akar juga memiliki kemampuan mengadsorpsi ion logam Zn.

Karena proses adsorpsi yang terjadi juga dipengaruhi dengan adanya natrium alginat, untuk melakukan perhitungan mengenai kemampuan adsorpsi dari akar terimobil serta perhitungan konstanta K_d dan K_f, berat adsorben yang dilibatkan dalam perhitungan kemampuan adsorpsi merupakan hasil penjumlahan dari berat akar dan berat natrium alginat.

Berat adsorben yang semakin tinggi karena adanya penambahan natrium alginat yang juga mengadsorpsi ion logam Zn mengakibatkan konsentrasi Zn yang diadsorpsi serbuk akar yang terimobil lebih tinggi jika dibandingkan dengan serbuk akar rambut dalam keadaan tidak terimobilisasi, yang berarti berat logam Zn yang terdapat dalam adsorben serbuk akar terimobil juga lebih besar. Namun jika dilihat dari kemampuan adsorpsi/isoterm adsorpsi, berat Zn yang diadsorpsi pada serbuk akar terimobil yang lebih tinggi dibandingkan dengan berat Zn yang diadsorpsi serbuk akar tidak terimobil tidak menunjukkan kemampuan adsorpsinya lebih tinggi. Untuk melihat perbedaan kemampuan adsorpsi antara kedua adsorben tersebut perlu dihitung kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut terimobil. Tabel 4 menunjukkan kemampuan adsorpsi akar terimobil pada masing-masing konsentrasi setiap terjadi perubahan waktu

Tabel 4. Kemampuan adsorpsi akar imobil (q)(mg/g)

Larutan Zn (mg/l)	Waktu (menit)						q rata-rata (mg/g)
	0	2	5	10	15	30	
50	0,19	0,21	0,35	0,51	0,59	0,42	0,38
100	0,17	0,49	1,20	1,08	1,02	0,88	0,81
150	0,40	1,28	1,42	1,35	1,22	1,25	1,15
200	0,55	2,31	2,12	2,11	1,94	1,93	1,83
250	0,79	2,58	2,83	2,68	2,46	2,20	2,26
300	0,31	2,35	2,85	2,68	2,61	2,28	2,18

Dibandingkan dengan kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ tidak terimobil, kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ terimobil lebih kecil.

Adanya adsorben lain yang berbeda secara fisik, biologis dan kimia dengan serbuk akar rambut yaitu natrium alginat menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan adsorpsi. Hal ini memperlihatkan bahwa natrium alginat sebagai bahan untuk proses imobilisasi menyebabkan tertutupnya permukaan serbuk akar rambut akibat terbentuknya lapisan natrium alginat yang menyelimuti serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄.

Perhitungan konstanta Langmuir dan Freundlich dilakukan sama seperti yang dilakukan pada analisis ekuilibrium. Untuk konstanta Langmuir ditentukan dengan berdasarkan garis regresi yang didapat menggunakan *software* SigmaPlot 2001.

Karena dalam perhitungan konstanta Langmuir dan Freundlich hanya melibatkan sebuah nilai q (kemampuan adsorpsi) dari satu tingkat konsentrasi maka kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut terimobil pada masing-masing konsentrasi didapatkan dengan cara menghitung rata-rata adsorpsi pada masing-masing tingkat konsentrasi

Nilai-nilai konstanta Langmuir dan Freundlich dapat diketahui dari garis yang dihasilkan Konstanta Freundlich untuk serbuk akar terimobil adalah $K_f = 0,007$ sementara nilai konstanta Langmuirnya adalah $K_L = 0,0006$.

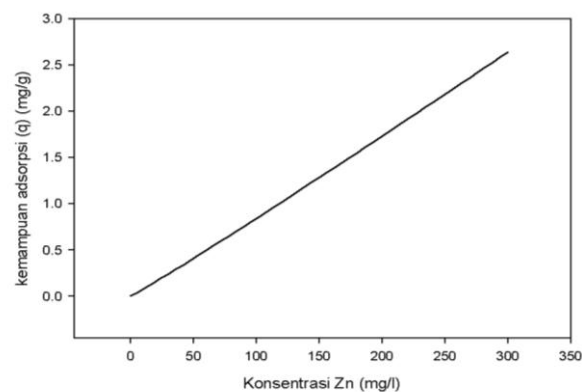
Keterangan yang lebih jelas mengenai kedua persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 dan garis yang dihasilkan oleh kedua persamaan tersebut setelah nilai-nilai konstanta dimasukkan ke dalam persamaan dapat dilihat pada Gambar 5

Tabel 5. Persamaan Langmuir dan Freundlich dari serbuk akar *Solanum nigrum* L galur A₄ terimobilisasi

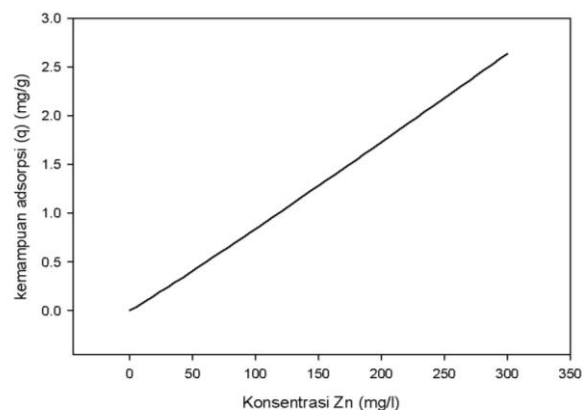
Jenis Persamaan	Persamaan Ekuilibrium	Keterangan
Persamaan Langmuir	$q = \frac{0,009 C}{1 + 0,0006C}$	$Q = 15$ $K_L = 0,0006$ $r^2 = 95,1$
Persamaan Freundlich	$q = 0,007 C^{1,04}$	$n = 1,04$ $K_f = 0,007$ $r^2 = 98,3$

Berdasarkan persamaan Langmuir memberikan nilai kemampuan adsorpsi maksimum yang dimiliki oleh serbuk akar rambut terimobil adalah sebesar 15 mg/gr lebih besar dari kemampuan adsorpsi maksimum natrium alginat yang sebesar $Q = 3$ mg/gr (Boonamnuyvitya, 2001), tetapi jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai kemampuan adsorpsi maksimum yang dimiliki oleh serbuk akar

rambut tidak terimobilisasi yang memiliki nilai $Q = 144,72$ mg/gr. Selain disebabkan oleh bertambahnya berat adsorben, penurunan kemampuan adsorpsi dari serbuk akar rambut karena adanya proses imobil adalah terbentuknya selimut alginat yang menutupi permukaan dari serbuk akar rambut itu sendiri. Pengamatan dengan mikroskop yang dilakukan oleh Boonamnuyvitya et al.(2001) terhadap lumpur aktif yang diimobilisasi menunjukkan terjadinya selimut natrium alginat terhadap permukaan lumpur aktif imobil yang digunakan untuk mengadsorpsi Timbal (Pb) yang berakibat pada menurunnya kemampuan adsorpsi.



(a)



(b)

Gambar 5. Persamaan Freundlich yang menggambarkan sistem non ideal (a) dan persamaan Langmuir yang menggambarkan sistem ideal (b).

Jika persamaan Langmuir dan Freundlich yang menjadi parameter adsorpsi dibandingkan maka perbandingan antar kedua adsorben yaitu serbuk akar tidak terimobilisasi dan serbuk akar terimobilisasi perbedaan keduanya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan persamaan Langmuir dan Freundlich antara serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ tidak terimobilisasi dan yang terimobilisasi.

Serbuk akar rambut <i>Solanum nigrum</i> L galur A ₄ tidak terimobilisasi		Serbuk akar rambut <i>Solanum nigrum</i> L galur A ₄ terimobilisasi	
Freundlich	Langmuir	Freundlich	Langmuir
$q=0,13C^{1,01}$	$q = \frac{0,15 C}{1+0,001C}$	$q=0,007C^{1,04}$	$q = \frac{0,009 C}{1+0,0006C}$
Keterangan $K_F = 0,13$ $r^2 = 93,9$	Keterangan $K_L = 0,001$ $Q = 144,72$ $r^2 = 82,3$	Keterangan $K_f = 0,007$ $r^2 = 98,3$	Keterangan $K_L=0,0006$ $Q = 15$ $r^2 = 95,1$

Meskipun kemampuan adsorpsi dari serbuk akar rambut terimobilisasi lebih kecil jika dibandingkan dengan serbuk akar tidak terimobilisasi namun secara praktis penggunaan serbuk akar terimobil lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan serbuk akar tidak terimobil. Hal ini lebih disebabkan karena keunggulan serbuk akar yang terimobilisasi yang lebih mudah untuk proses pemisahan atau rekoveri dibandingkan dengan serbuk akar rambut tidak terimobilisasi. Proses pemisahan suatu adsorben yang tidak diimobilisasi biasanya dilakukan dengan proses sentrifugasi dan filtrasi yang dinilai tidak praktis bila diterapkan pada skala industri. Sehingga penerapan imobilisasi yang disimpan pada suatu kolom dipandang lebih praktis untuk digunakan (Suhendrayatna, 2002). Idealnya proses bioremoval yang melibatkan imobilisasi sel akan mudah direkoveri dan digunakan kembali untuk pengikatan ion logam. Proses ini akan tercapai tergantung pada jumlah eluting metal chelator, tinggi atau rendahnya pH larutan, atau larutan garam untuk mereduksi ikatan ion logam.

KESIMPULAN

Analisis ekuilibrium dilakukan untuk mengetahui tingkat adsorpsi tertinggi dari serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄. Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa serbuk akar rambut *S. nigrum* L memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi logam berat Zn. Proses adsorpsi yang terjadi merupakan proses adsorpsi fisik dimana terjadi pengikatan ion logam Zn pada permukaan serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄.

Kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ lebih tinggi disbandingkan dengan arang aktif. Arang aktif yang merupakan adsorben yang banyak digunakan untuk proses remediasi limbah organik memiliki kemampuan

adsorpsi yang spesifik. Terhadap logam berat Zn, arang aktif hanya mampu mengikat ion logam Zn dalam jumlah yang sedikit.

Persamaan Freundlich dan Langmuir digunakan untuk mengukur kemampuan adsorpsi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄. Nilai konstanta Langmuir serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ sebesar 0,001 dan konstanta Freundlich sebesar 0,13.

Pembentukan imobilisasi serbuk akar rambut *Solanum nigrum* L galur A₄ kering bertujuan memudahkan dalam praktek remediasi. Imobilisasi akar kering mampu mengadsorpsi logam Zn lebih tinggi dibandingkan dengan serbuk akar non imobil, hal ini disebabkan penambahan natrium alginat yang digunakan sebagai bahan untuk imobilisasi serbuk akar yang secara alami mampu mengadsorpsi logam Zn. Namun kemampuan adsorpsi serbuk akar terimobil lebih rendah karena penambahan natrium alginat menyebabkan penambahan berat adsorben yang menjadi faktor pembagi dalam proses perhitungan kemampuan adsorpsi.

Waktu kontak merupakan faktor yang mempengaruhi adsorpsi. Semakin lama waktu kontak, semakin besar konsentrasi Zn yang diadsorpsi. Ketika adsorben telah jenuh dengan ion Zn kemungkinan adsorben melepaskan kembali ion Zn yang sudah terikat pada permukaannya kedalam larutan. Hal ini disebabkan karena ikatan kimia yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat adalah ikatan Van der Waals yang merupakan ikatan yang lemah.

DAFTAR PUSTAKA

- Boonamnuyavitya, V. , Supaporn Chuaprasert and La-Eid Pengsopar. 2000. A Study of Heavy Metal Removal from Wastewater by Biomass Material Adsorbents. IC Biotech, Jepang.
- Chen, J. P., W. R. Chen, dan R. Chi Hsu. 1996. Biosorption of copper from aqueous Solution by Plant Root Tissues. J. of Ferment. and Bioeng. Vol. 81(5): 458 – 463.
- Darmono. 1995. Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup. UI Press. Jakarta.
- Eckenfelder, W. 1985. Application of Adsorption to Waste Water Treatment. Enviro Press Inc. Nashville, Tennessee.
- Giles, C. H, D. Smith. And Alan Huitson. 1974. A General Treatment and Classification of the Solute Adsorption Isotherm. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Macek, T., P. Kotrba, M. Suchova, F. Skacel, K. Demnerova and T. Rumi. 1994. Accumulation of Cadmium by Hairy Root Cultures of *Solanum nigrum*. Biotechnol. Lett.16(6) : 621 – 624.

- Muhammad, Nur, Jeremy Parr, Michael D. Smith and Andrew D. Wheatley. 1998. Adsorption of Heavy Metals in Slow Sand Filters. 24th WEDC Conference.
- Schenk, George H., and Darrell D. Ebbing. 1985. Qualitative Analysis on Ionic Equilibrium. Houghton Mifflin Co. Boston.
- Subroto, M. A. 1996. Fitoremediasi dalam Prosiding Pelatihan dan Lokakarya Peranan Bioremediasi dalam Pengelolaan Lingkungan. Cibinong, 24 – 25 Juni 1996.
- Suhendrayatna. 2001. Bioremoval Logam Berat dengan Menggunakan Mikroorganisme : Suatu Kajian Kepustakaan. Bioteknologi untuk Indonesia Abad 21. 1 – 14 Februari 2001. PPI Tokyo Institute of Technology.